

岡山大学経済学会雑誌40(2), 2008, 1~21

## 《論 説》

## 証券投資におけるインデックス運用の有効性についての分析

高 橋 大 志

## 概 要

本研究では、近年、証券投資の分野において提案されているファンダメンタルインデックスが市場にもたらす影響に焦点を当て分析を行った。投資家毎にリスク評価の異なる条件下において分析を行った結果、(1)ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が証券投資の手法として有効であること、(2)市場環境によってはファンダメンタルに基づくパッシブ運用を行う投資家とリスクを過小評価する投資家が共存しうることなどの示唆に富む現象を見出した。更に、本研究では、投資家の予測精度に焦点を当てた分析も行い、その中で、市場環境によっては予測精度が悪い投資家が市場に存在し続ける可能性のあることなどの興味深い現象も見出した。

## 1 はじめに

証券投資に関する研究は、従来より盛んに研究がおこなわれており、これまで Capital Asset Pricing Model (CAPM) やポートフォリオ理論など優れた理論が提案されてきた [21] [18]。これら伝統的ファイナンス理論の多くは、市場の効率性や合理的な意思決定などを前提とし、議論されてきたものであり、これらの優れた理論の貢献により、ファイナンス研究、および現実の金融システムはめざましい進展を遂げてきた。伝統的ファイナンス理論の示唆する効率的市場においては、リスクに応じたリターンを上回る超過収益を獲得するのは困難であり、その意味で、東証株価指数 (TOPIX) などの市場インデックスと連動した収益の獲得を目的とするパッシブ運用 (インデックス運用) は有効な投資手法と考えられる<sup>1</sup> [21]。

一方、近年、伝統的ファイナンス理論が前提としている市場の効率性に対し疑問を投げかける報告も数多く報告されており、例えば、行動ファイナンスなどにおいては、(1)裁定取引の限界、(2)意思決定におけるシステムティックなバイアスの存在などから市場の効率性は必ずしも達成されないとの指摘が行われている<sup>2</sup> [22] [23]。その意味でパッシブ運用は必ずしも最適な投資手法とはなっていない可能性がある。これらの議論を背景とし、近年、証券投資の分野において、ファンダメンタルイン

1 現実の証券投資における投資手法としてパッシブ運用 (インデックス運用) を採用する投資家は数多く存在する [35]。一般に、年金などの運用においてパッシブ運用を採用する機関投資家の多くは、TOPIX などの時価加重インデックスをベンチマークとして株式の運用を行っている。最も広く知られた資産価格理論のひとつである CAPM (Capital Asset Pricing Model) においては、効率的市場においては市場ポートフォリオを保有することが最適であるとの報告が行われており、その意味で、TOPIX などをベンチマークとするパッシブ運用は、最適な投資手法と捉えられる。

デックスと呼ばれる指標が新たに提案されている<sup>3</sup>。ファンダメンタルインデックスは、企業の収益などのファンダメンタル指標を基に作成される指標であり、当インデックスに関する議論は学術分野のみならず実務分野においても意欲的に行われている<sup>4</sup> [1] [34]。これまで現実の金融市場のデータを用いた実証分析等が数多く行われているが、高橋ら [2007] は、シミュレーション分析を通じ、当指標についての議論を行っており、その中で、期待リターン（収益率）の評価が投資家毎に異なる状況において、ファンダメンタルインデックスは、(1)ファンダメンタルバリュを反映した市場において時価加重インデックスと同様の機能を果たすこと、(2)ファンダメンタルバリュを反映した市場の達成に貢献しうることなどの興味深い指摘を行っている<sup>5</sup> [33]。

不確実性下における投資の意思決定において、金融資産のリスクの評価は意思決定に影響を与える重要な要素の一つである [18]。行動ファイナンスの分野において、期待リターンに関する議論に加え、リスク評価に関する分析も数多く報告されており、例えば、Shleifer [2000] は、リスクを誤って見積もる自信過剰なノイズトレーダーが資産価格に対し影響を与えることを示している [22]。また、Baber/Odean [2000] は、米国株式市場を対象とした分析を行い、その中で、個人投資家の自信過剰な投資行動と整合的な結果を実証分析により示している<sup>6</sup> [5]。更に、高橋ら [2006] は、投資家行動のモデル化を行った分析を通じ、リスク評価のバイアスが内生的に出現し、リスクを過少に見積もる投資家が市場に残る可能性のあることを指摘している<sup>7</sup> [32]。ファンダメンタルインデックスを取り扱った高橋ら [2007] の研究においては期待リターンの評価の違いに焦点を当てた研究を行っているが、金融資産のリスクの評価は、不確実性下の投資の意思決定における最も重要な要素の一つであり、その意味で、投資家のリスク評価の違いを考慮にいたした分析の意義は大きい<sup>8</sup>。

これらの議論を背景とし、本研究では、ファンダメンタルインデックスに焦点を当て、投資家のリスクの評価の違いを考慮した分析を試みる。とりわけ本報告では、(1)ファンダメンタルインデックスの有効性、(2)ファンダメンタルインデックスが市場にもたらす影響に焦点を当て議論を行うものとする<sup>9</sup>。次章において、本研究に用いたモデルについて説明を行った後、3において分析結果を示す。

2 市場の効率性に疑問を投げかける報告は、行動ファイナンス以外にも行われている。例えば、広く知られた議論としては、『価格が情報効率のならば、誰も私的情報を用いて取引はしないはずであるが、そのような場合に価格はいかにして効率的になるのか?』ということ指摘した Grossman Paradox や、価格が情報効率のならば情報収集のインセンティブが存在しないが、誰も情報を収集しなければ市場は情報効率にはならず、情報効率的な市場は存在しないのでは?』とのことを指摘した Grossman/Stiglitz Paradox など議論が挙げられる [12]。また、特定の情報構造下においては、各人が合理的な意思決定を行ったとしても、結果的には、市場価格がファンダメンタルバリュから乖離しうること指摘した議論も数多く行われている [9] [27] [8]。

3 現在広く用いられている TOPIX などのインデックスは、市場価格を基に算出される時価加重インデックスである。

4 例えば、証券投資の実務の分野において、ファンダメンタルインデックスに基づく投資は、バリュ投資のクオンツファンドではないかなどの議論も行われている。

5 高橋ら [2007] は、同時に、ファンダメンタルインデックスの問題点についての指摘も行っている [33]。

6 リスクの過小評価に関しては、経営学などの分野においても数多くの議論が行われている [6]。

7 例えば、適切な株式リターンおよびリスクの見積もりが、10%±30%の時、リスクを過少に見積もる投資家は、株式収益率およびリスクを10%±20%のように見積もる。

8 ファンダメンタルインデックスを基にパッシブ運用を行う投資家とリスクを過小評価する投資家が市場に混在する時に、これらの投資家が共存するのか、もしくはどちらか一方のみが市場に残るのかという点も興味深い点である。

4 は、まとめである。

## 2 モデル

本モデルは1000人の投資家から成るコンピュータ上の金融市場であり、株式と無リスク資産の2資産が取引可能である。市場には複数のタイプの投資家が存在し、各自の投資戦略に基づき取引を行う。本市場は、大きく3つのステップより構成され、(1)企業利益の発生、(2)投資家予測の形成、(3)取引価格の決定、各ステップが繰り返されることにより、市場が進展していく。次節以降において、取引可能な資産、投資家行動のモデル化、取引価格の決定、市場における自然選択のルールについて説明を行う。

### 2.1 市場において取引可能な資産

本市場には、無リスク資産とリスク資産の2種類が存在し、リスク資産としては、得られた利益の全てを株主に対し毎期配当として支払う証券が一つ存在する。企業の利益( $y_t$ )は、 $y_t = y_{t-1} \cdot (1 + \varepsilon_t)$ 、ただし、 $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_y^2)$ の過程に従い発生し、株式取引は当期利益公表後に行われる[19]。投資家は、無限に貸借が可能であり、初期の保有資産は全ての投資家について共通である(無リスク資産1000、株式1000からなるポートフォリオを保有)。投資家は、当ポートフォリオのバイアンドホールド<sup>10</sup>をベンチマークとして採用し、1期間モデルにより投資の意思決定を行う。

### 2.2 投資家行動のモデル化

本分析において取り扱う投資家のタイプを、表1にまとめた<sup>11</sup>。タイプ1-4が超過収益の獲得を試みる投資家であり、タイプ5がパッシブ運用の投資家である。本節では、各投資家行動について説明を行う。

表1：投資家タイプ一覧

番号	投資家のタイプ
1	ファンダメンタリスト
2	直近価格による予測(直近1日)
3	トレンドによる予測(直近10日)
4	過去平均による予測(直近10日)
5	ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用

9 本研究ではエージェントベースモデルにより分析を行う。エージェントベースモデルは、自律的に行動する主体が多数集まったマルチエージェントシステムを分析するのに適した手法であり、自然科学および社会科学の幅広い分野において応用が行われている[3]。金融市場を対象とした分析も行われており、これまで、数多くの興味深い分析が報告されている[2][29][31][36]。

10 バイアンドホールドとは、株式購入後、中長期間保有し続ける投資手法である。

11 本分析では、代表的な投資家行動タイプを分析対象として取り上げた[22]。トレンドや平均の計測期間が異なる場合においても、本稿と同様の結果を確認することができる。また、本稿において示す結果の再現性についても確認している。

### 2.2.1 パッシブ運用を行う投資家

本分析においては、ファンダメンタルインデックスを基準としパッシブ運用（インデックス運用）に焦点をあて分析を行う。ファンダメンタルインデックスに基づきパッシブ運用を行う投資家は、超過収益獲得を目指す投資家と異なり、インデックスの動きに応じ機械的に株式への投資比率を決定する<sup>12</sup>。

### 2.2.2 超過収益獲得をめざす投資家

超過収益獲得をめざす投資家は、自らの相場観に基づき株式価格の予測を行い、リスクと収益率の両者を勘案して投資の意思決定を行う。各投資家は、以下の目的関数最大化に基づき、株式への投資比率 ( $w_t^i$ ) の決定を行う<sup>13</sup> [7]。

$$f(w_t^i) = r_{t+1}^{int,i} \cdot w_t^i + r_f \cdot (1 - w_t^i) - \lambda (\sigma_{t-1}^{s,i})^2 \cdot (w_t^i)^2.$$

ここで、 $r_{t+1}^{int,i}$  および  $\sigma_{t-1}^{s,i}$  は、投資家  $i$  により見積もられた株式の期待収益率およびリスクを示す。 $r_f$  はリスクフリーレートである。 $w_t^i$  は、投資家  $i$  の  $t$  期における株式への投資比率である。

株式の期待収益率は下記のように算出される [7]。

$$r_{t+1}^{int,i} = (\alpha \cdot r_{t+1}^{f,i} + \beta \cdot r_t^{im}) / (\alpha + \beta)$$

ここで、 $\alpha = 1 \cdot c^{-1} (\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}$ 、 $\beta = 1 \cdot (\sigma_{t-1}^{s,i})^{-2}$  であり、 $r_{t+1}^{f,i}$ 、 $r_t^{im}$  は、それぞれ、短期的な期待収益率、株式のリスクおよび時価総額比率などから算出される期待収益率を示す。 $c$  は、株式のリスクおよび時価総額比率などから算出される期待収益率の分散の水準を調整する係数である [7]。

短期的な期待収益率 ( $r_t^{f,i}$ ) は、投資家により見積もられる  $t+1$  期の株式価格および利益の予測 ( $P_{t+1}^{f,i}$ ,  $y_{t+1}^{f,i}$ ) より、以下のように求められる。

$$r_{t+1}^{f,i} = ((P_{t+1}^{f,i} + y_{t+1}^{f,i}) / P_t - 1) \cdot (1 + \eta_t^i).$$

同じ予測タイプの投資家でも詳細な見通しは異なることを反映し、短期期待収益率は誤差項 ( $\eta_t^i \sim N(0, \sigma_\eta^2)$ ) を含むものとした<sup>14</sup>。株式価格 ( $P_{t+1}^{f,i}$ ) および利益の予測 ( $y_{t+1}^{f,i}$ ) およびリスクの見積もり方法については、次節以降において説明する。

株式のリスクなどから求められる株式期待収益率は、株式のリスク ( $\sigma_{t-1}^{s,i}$ )、ベンチマークにおける株式比率 ( $W_{t-1}$ )、投資家のリスク回避度 ( $\lambda$ )、リスクフリーレート ( $r_f$ ) から、以下のように求められる [7]。

12 取引価格がファンダメンタルバリュート一致している場合、一般的に広く用いられている時価加重インデックスに基づきパッシブ運用を行う投資家とファンダメンタルインデックスに基づきパッシブ運用を行う投資家の投資行動は同じものとなる。

13 投資家の意思決定モデルは、証券投資の実務においても用いられている Black/Litterman モデル [7] に基づくものとした。

14 ただし、3.1.6の分析においては、誤差項は投資家毎に異なるものとして分析を行っている。

$$r_t^{im} = 2 \cdot \lambda \cdot (\sigma_{t-1}^s)^2 \cdot W_{t-1} + r_f.$$

**株式価格の予測方法** ファンダメンタルバリューについては、ファイナンスの分野において最も広く知られたモデルの一つである配当割引モデルにより見積もられるものとする。ファンダメンタリストは、株式の予測価格および予測利益を、当期利益 ( $y_t$ ) および割引率 ( $\delta$ ) から、 $P_{t+1}^{f,i} = y_t/\delta$ ,  $y_{t+1}^{f,i} = y_t$  と見積もる。

トレンドによる予測については、直近の株式価格変動のトレンドを外挿することで、次期の株式価格および利益の予測が行われる。次期の株式価格および利益は、 $t-1$  時点における直近の株価変動のトレンド ( $a_{t-1}$ ) から、 $P_{t+1}^{f,i} = P_{t-1} \cdot (1 + a_{t-1})^2$ ,  $y_{t+1}^{f,i} = y_t \cdot (1 + a_{t-1})$  のように見積もられる。

過去平均による予測については、直近の株式の平均値に基づき、次期の株式価格および利益の予測値が見積もられる。

**リスクの評価方法** 本分析では、投資家毎にリスクの評価が異なる条件下において分析を行う。株式のリスクは、 $\sigma_{t-1}^{s,i} = s_i \cdot \sigma_{t-1}^h$  と見積もられる（各投資家共通）。ここで、 $\sigma_{t-1}^h$  は、直近100ステップの価格変動から算出される株価のボラティリティであり、 $s_i$  は、リスクの過小評価の程度（自信過剰の程度）を示す指標である。 $s_i$  の値が1より小さい場合は、予測の誤差を実際より小さく見積もることを示すものであり、リスクの過小評価の程度（自信過剰の程度）が強いとの解釈を行うことが可能である<sup>15</sup>。一方、 $s_i$  の値が1より大きい場合は、反対に、自らの予測誤差を大きく見積もる傾向にある。なお、各投資家のリスクの過小評価（自信過剰）の程度 ( $s_i$ ) は、投資家毎に異なるものとし、初期時点において、0.8から1.2の間の一様乱数により与えられるものとする<sup>16</sup>。

### 2.3 取引価格の決定

取引価格は、株式の需要と供給が一致する価格に決定される ( $\sum_{i=1}^M (F_t^i w_t^i) / P_t = N$ )。なお、 $t$  期における投資家  $i$  の保有する資産総額 ( $F_t^i$ ) は、 $t$  期における取引価格 ( $P_t$ )、利益 ( $y_t$ ) および  $t-1$  期における保有資産総額、株式への投資比率 ( $w_{t-1}^i$ )、リスクフリーレート ( $r_f$ ) などから、 $F_t^i = F_{t-1}^i \cdot (w_{t-1}^i \cdot (P_t + y_t) / P_{t-1} + (1 - w_{t-1}^i) \cdot (1 + r_f))$  と算出される。

### 2.4 市場における自然選択のルール

本市場においては、直近5期間の累積超過収益を基に、自然選択のルールが働く [11]。自然選択のルールは、(1) 投資戦略を変更する投資家の選定、(2) 投資戦略の変更、の2つのステップにより構成される [29]<sup>17</sup>。

各投資家は、取引開始25期経過後、各5期間毎、直近のパフォーマンスに基づき投資戦略変更の有

15  $s_i$  が1より小さい投資家は、リスクを正確に見積もる投資家 ( $s_i = 1$ ) に比べ、より積極的な投資行動をとる傾向にある。（例えば、株式価格が上昇するとの予測の場合、より多くの株式を購入するなど。）

16 本分析では、リスクの過小評価の程度は0.8から1.2の間の一様乱数により与えるものとしているが、異なる範囲であっても本稿と同様の結果を得ることができる。

17 投資戦略の変更時には、(1) 予測タイプ、(2) リスク過小評価の程度についての変更が行われる。

無を決定する．直近獲得した収益率が高いほど戦略変更の確率は小さく，収益率が低いほど戦略を変更する確率は大きくなる．具体的には，ベンチマークポートフォリオの収益率に対して正の超過収益を獲得できなかった投資家は，以下の確率にて，投資戦略を変更する<sup>18</sup>．

$$p_i = \min \left( 1, \max \left( 0.5 \cdot e^{-r_i^{cum}} - 0.5, 0 \right) \right).$$

ただし，ここで  $r_i^{cum}$  は，投資家  $i$  の直近 5 期におけるベンチマークに対する累積超過収益率である．新投資戦略決定に際しては，直近 5 期累積超過収益の高い投資戦略（予測タイプ）の選択確率が高くなる．投資家  $i$  の戦略を  $z_i$  とし，直近 5 期の累積超過収益を  $r_i^{cum}$  とすると，新しい投資戦略として  $z_i$  が選択される確率  $p_i$  は， $p_i = e^{(a \cdot r_i^{cum})} / \sum_{j=1}^M e^{(a \cdot r_j^{cum})}$  のように与えられる<sup>19</sup>．戦略を変更した投資家は，次ステップ以降，新投資戦略に基づき投資を行う．

### 3 分析結果

はじめに，ファンダメンタルインデックスが市場に与える影響について分析を行った後，条件の一部を現実の市場の条件に近づけた場合について分析を行う．

#### 3.1 ファンダメンタルインデックスが市場に与える影響

本節では，ファンダメンタルインデックスが市場に与える影響について分析を行う．はじめに，ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用（インデックス運用）を行う投資家が存在しない市場について分析を行った後，ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家が存在する市場についての分析を行う．

##### 3.1.1 ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が存在しない場合

本節では，ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が存在しない場合について分析する．4 種類のタイプの投資家（表 1：タイプ 1-4）が同数存在する場合における取引価格，各タイプの投資家数の推移，リスクの過小評価の程度の推移を，それぞれ，図 1，図 2，図 3 に示す．価格推移および各投資家タイプの推移の図より，取引期間全体を通じ，取引価格がファンダメンタルバリュウと一致し，ファンダメンタリストが市場に残っていることを確認できる<sup>20</sup>．一方，リスクの過小評価の程度について確認してみると，リスクを過小評価する程度の大きい投資家（自信過剰な投資家）が，市場に残っていることを確認できる<sup>21</sup>．このように，当条件下においては，リスクを過小評価するファンダメンタリストが市場に残る傾向を確認することができた．次節におい

18 現実の市場においては超過収益が正か負かとの点で評価が行われる傾向にあることから本基準を採用した．異なる基準に基づく詳細な分析は今後の課題としたい．

19  $a$  の値が大きくなる程，投資戦略の淘汰圧は高くなる．

20 異なる予測タイプの投資家が市場に存在する場合の詳細な分析については，Takahashi et al. [2003] 参照のこと [29]．

21 図中の縦軸の目盛りが 1 より小さい時，市場の投資家はリスクを過小評価する傾向（自信過剰の傾向）にある．リスクの過小評価の程度が大きい投資家に焦点を当てた分析の詳細については，高橋ら [2006] 参照のこと．

図1：価格の推移（パッシブ運用が存在しない場合）

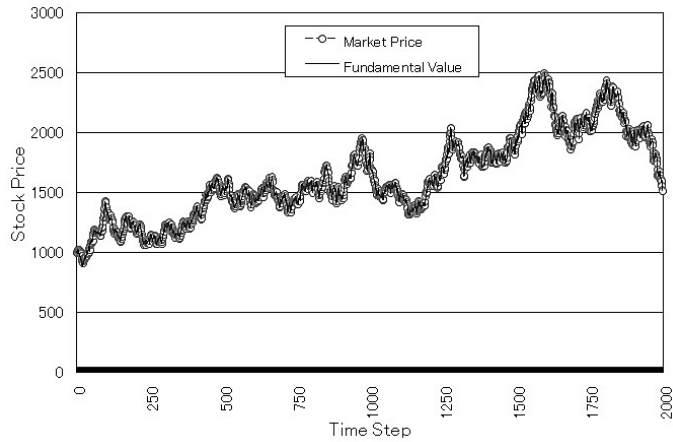


図2：投資家数の推移（パッシブ運用が存在しない場合）

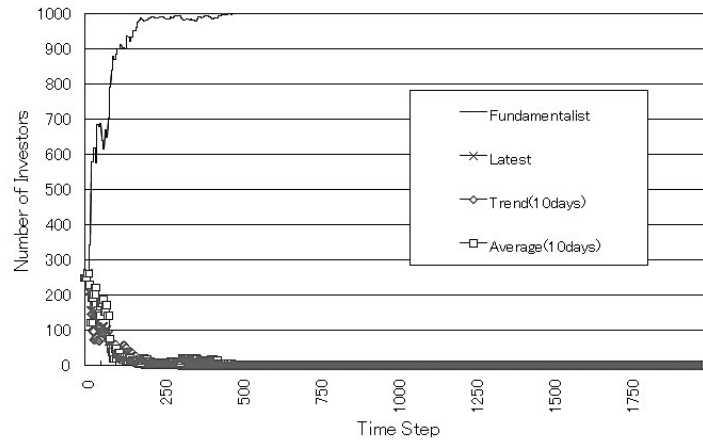
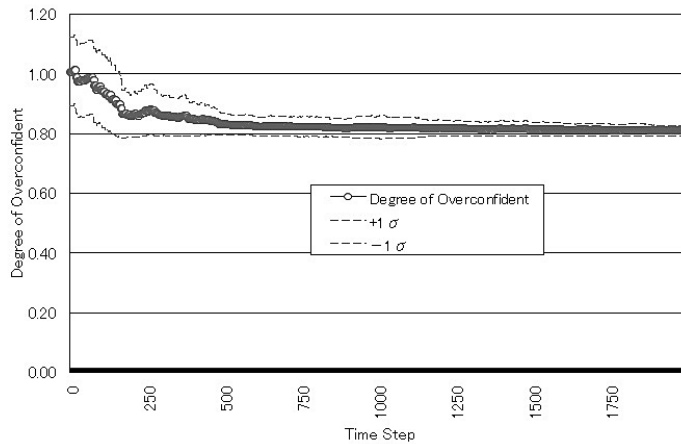


図3：リスク過小評価の程度の推移（パッシブ運用が存在しない場合）



て、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家が存在する場合に市場にもたらされる変化について分析を行う。

### 3.1.2 ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が存在する場合

本節では、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が存在する場合について分析する。5種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-5）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移、リスクの過小評価の程度の推移を、それぞれ、図4、図5、図6に示す。価格推移の図より、取引期間全体を通じ、取引価格がファンダメンタルバリュートと一致していることを確認できる。これらの結果は、リスク評価が異なる投資家が存在する場合においても、ファンダメンタルインデックスに起因する悪影響はみられないことを示すものである<sup>22</sup>。投資家数の推移については、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家が全投資家のうち大きな割合を占めていることを確認できる<sup>23</sup>。一方、リスクの過小評価の程度の推移については、期間全体を通じほとんど変化していないことを確認できる<sup>24</sup>。これらの結果は、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が、リスクの過小評価を行う投資家行動と比較して、超過収益を獲得できることを示すものであり、当指標に基づくパッシブ運用の有効性を示す興味深い結果である<sup>25</sup>。

本節では、金融資産のリスク評価が投資家毎に異なる状況においても、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が有効な投資手法であることを確認することができた。次節以降、条件の一部を現実の市場の条件に近づけ、ファンダメンタルインデックスに関するより詳細な分析を試みる。

### 3.1.3 現実の投資環境を考慮した分析

本節においては、条件の一部を現実の市場の条件に近づけた分析を行う。はじめに、投資戦略の変更をランダム行う投資家が存在する場合の分析を行った後、投資における調査コスト、投資家の予測精度の違いを考慮した分析を行う。

### 3.1.4 一部の投資家が投資戦略をランダムに変更する場合

現実の市場においては多様な投資家が存在し、全ての投資家が過去の投資パフォーマンスを基に投資戦略の変更を行っているわけではない。本節では、これらの状況を考慮し、一部の投資家が投資戦略をランダムに変更する場合について分析を試みる。はじめに、投資戦略の変更をランダムに行う投

22 これらの点は、時価加重インデックスと比較した際、ファンダメンタルインデックスの有する優れた特徴の一つとして挙げられる。

23 本稿では示していないが、時価加重インデックスに基づくパッシブ運用においても同様の傾向を確認できる。

24 前節の分析においてみられた、リスクの過小評価を行う投資家が市場に生き残る傾向は、本市場環境においては見られていない。

25 現市場におけるファンダメンタルインデックスの普及の程度は、時価加重インデックスと比較し低い状況にあるが、これらの結果は、証券投資の実務においてファンダメンタルインデックスの採用を議論する際に、興味深い結果を示すものである。



図4：価格の推移（パッシブ運用が存在する場合）

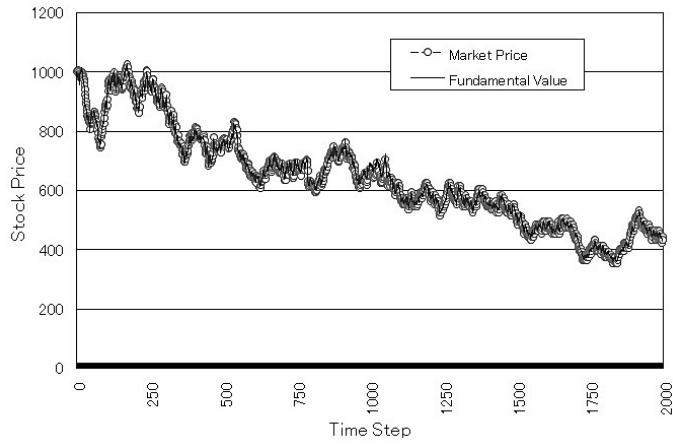


図5：投資家数の推移（パッシブ運用が存在する場合）

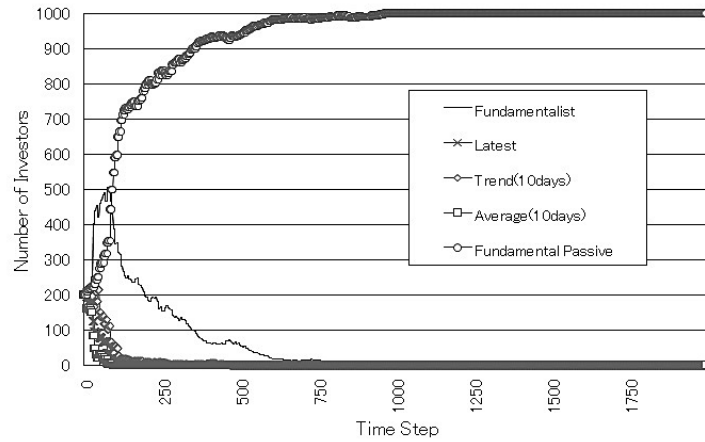
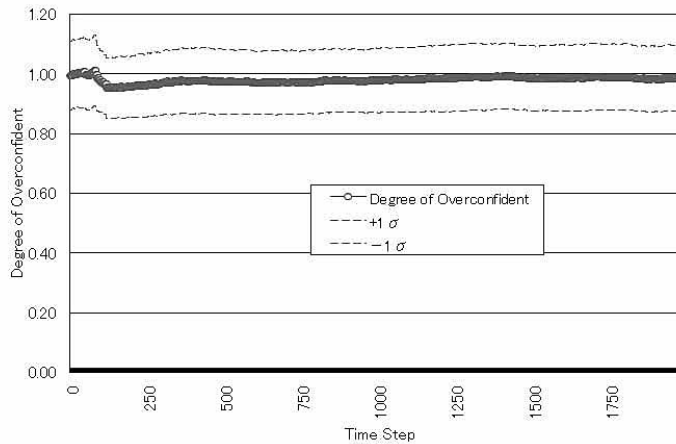


図6：リスク過小評価の程度の推移（パッシブ運用が存在する場合）



投資家の比率が小さい場合の分析を行った後、ランダムに投資戦略の変更を行う投資家の比率が増加した場合について分析を行う。

**投資戦略の変更をランダムに行う投資家が存在する場合** 本節では、投資戦略変更時において、全体の投資家のうち0.1%の投資家がランダムに投資戦略を行う場合について分析を行った。5種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-5）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移、リスクの過小評価の程度の推移を、それぞれ、図7、図8、図9に示す。価格推移の図より、取引期間全体を通じ、取引価格がファンダメンタルバリューと一致していることを確認できる。各投資家タイプの推移については、ランダムに投資戦略の変更が行われるため各タイプの投資家数が、わずかに変動する場合もみられるが、全体的な傾向としては、図5と同様にファンダメンタリストが市場に生き残ることを確認できる。リスクの過小評価の程度の推移についても、図6と同様に、リスクの過小評価の程度が特定の方向に推移する現象はみられていない。

本節では、投資戦略の変更をランダムに変更する投資家の比率は0.1%と極めて小さいものであったが、次節において、当比率が若干増加した場合について、市場の分析を試みる。

**投資戦略の変更をランダムに行う投資家の比率が増加した場合** 本節では、投資戦略変更時において、全体の投資家のうち1.0%の投資家がランダムに投資戦略を行う場合についての分析を行った。5種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-5）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移、リスクの過小評価の程度の推移を、それぞれ、図10、図11、図12に示す。価格推移の図より、当条件下においても取引期間全体を通じ、取引価格がファンダメンタルバリューと一致していることを確認できる。各投資家タイプの投資家数の推移については、ランダムに投資戦略の変更を行う投資家の比率が増加しているため、図8と比較して投資家数の推移の変動の幅が大きくなっていることを確認できる<sup>26</sup>。リスクの過小評価の程度の推移については、図9と異なり、時間の経過とともに、リスクの過小評価の程度が大きくなっていることを確認できる。当条件下においては、ランダムに投資戦略の変更を行う投資家の比率が増加することで、市場に多様な投資家が存在するようになり、リスクを過小評価する投資家が超過収益を獲得でき機会が増えたため、図11の結果が得られると考えられる<sup>27</sup>。これらの結果は、市場環境と市場に生き残る投資家タイプの関連性を示すものであり、興味深い結果である。

### 3.1.5 投資における調査コストを考慮した場合の分析

現実の証券投資における実務においてファンダメンタルインデックスを作成をするためには、インデックス組み入れ対象銘柄企業のファンダメンタルの調査等が必要となる。そのため、ファンダメンタルインデックスは、現在広く用いられている時価加重インデックスと比較しインデックス構築のためのコストが高くなる傾向にある<sup>28</sup>。そこで、本節においては、インデックス作成における調査コス

26 全体的な傾向としては、図5と同様にファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家が、全投資家数のうち大きな割合を占めている。

27 これらの分析は、金融市場における自然淘汰のメカニズムの一つの側面を示すものであり興味深いものである。詳細な分析は今後の課題としたい。

図7：価格の推移（一部の投資家が投資戦略をランダムに変更する場合）

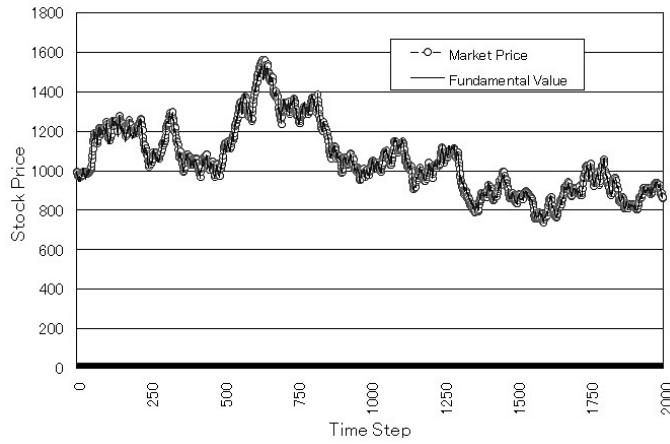


図8：投資家数の推移（一部の投資家が投資戦略をランダムに変更する場合）

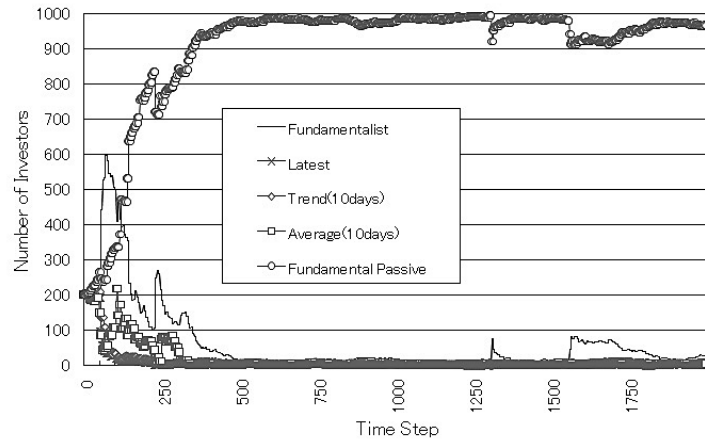


図9：リスク過小評価の程度の推移（一部の投資家が投資戦略をランダムに変更する場合）

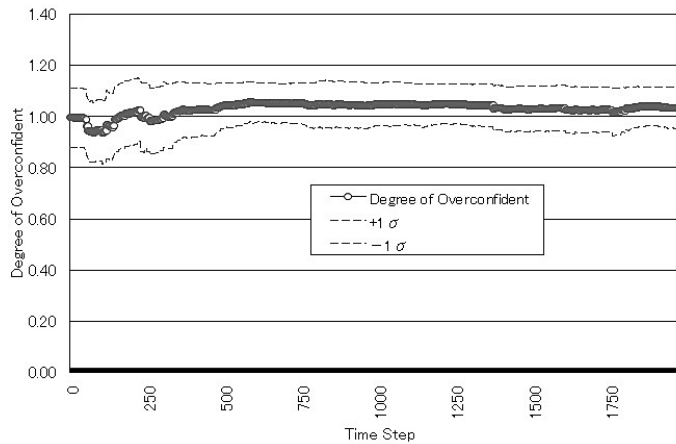


図10：価格の推移（投資戦略の変更をランダムに行う投資家の比率が増加した場合）

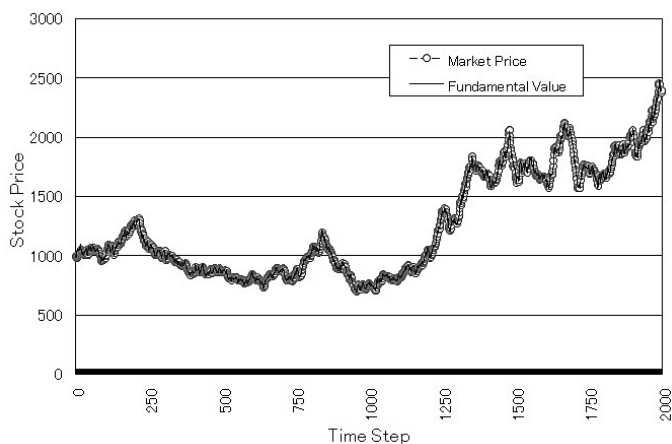


図11：投資家数の推移（投資戦略の変更をランダムに行う投資家の比率が増加した場合）

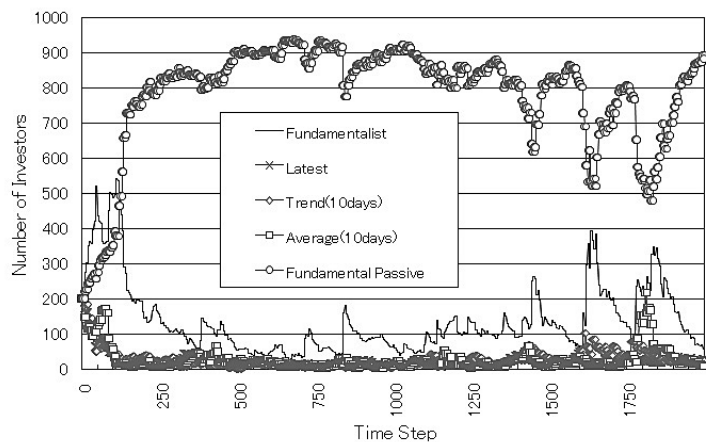
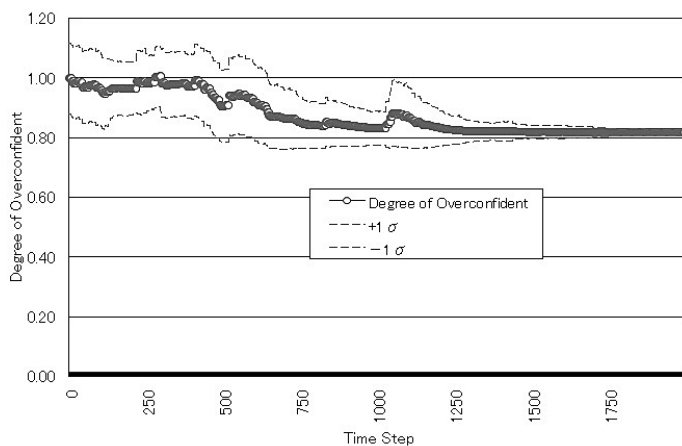


図12：リスク過小評価の程度の推移（投資戦略の変更をランダムに行う投資家の比率が増加した場合）



トを考慮した分析を試みる。本節では、調査コストが0.05%／期の場合の分析結果を示す<sup>29</sup>。

5種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-5）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移を、それぞれ、図13、図14に示す。価格推移については、取引期間全体を通じ、取引価格がファンダメンタルバリューに一致していることを確認できる。一方、各投資家タイプの投資家数の推移については、ファンダメンタリストが全投資家数の大きな割合を占めるようになり、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家の数が減少していることを確認できる<sup>30</sup>。本分析結果は、現実の証券投資におけるコストの重要性を示唆するものであり、実務の観点からも意義のある結果を示すものである<sup>31</sup>。

### 3.1.6 予測精度が投資家により異なる場合

金融市場において取引を行う投資家は、自らの保有する情報を基に金融資産の期待リターンやリスクなどの評価を行った上で、投資の意思決定を行っている。現実の市場には、多様な投資家が存在しており、各投資家ごとの投資家の予測精度は必ずしも同じであるとは限らない。そこで本節では、これらの状況を考慮し、予測精度が投資家により異なる場合について分析を試みる<sup>32</sup>。本節では、初期時点において投資家の予測誤差（ $\sigma_n^i$ ）が0.5%－1.5%の一樣分布で与えられるものとし分析を行った。

4種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-4）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移、リスクの過小評価の程度の推移を図15、図16、図17に示す。価格推移の図より、取引期間全体を通じ、取引価格がファンダメンタルバリューと等しくなっていることを確認できる。各投資家タイプの投資家数の推移については、図2同様、ファンダメンタリストが全投資家数の大きな割合を占めていることを確認できる。リスクの過小評価の程度の推移についても、図3同様、リスクの過小評価の程度が大きい投資家が市場において大きな割合を占めていることを確認できる。図18は、投資家の予測誤差の標準偏差の推移を示したものである。当市場環境においては、時間の進展とともに、投資家の予測誤差の平均値が大きくなっていることを確認できる。

5種類のタイプの投資家（表1：タイプ1-5）が同数存在する場合における取引価格、各タイプの投資家数の推移、リスクの過小評価の程度の推移を図19、図20、図21に示す。価格推移および各投資家タイプの推移の図より、取引価格がファンダメンタルバリューと一致し、時間の経過とともに、

28 現実の証券投資においてファンダメンタルインデックスを用いた投資を行う際、当指標を利用可能とするための選択肢としては、例えば、(1)自分でファンダメンタルインデックスを作成する、(2)インデックスの使用料等を支払った上で他者もしくは他機関の提供するファンダメンタルインデックスを使用するなどの選択肢が考えられる。いずれの場合においても、時価加重インデックスと比較してコストが高くなる可能性が高い。

29 調査コストが非常に少額の場合、これまでと同様の結果（例：図4、図5、図6）が得られる。本稿では、調査コストの影響をわかりやすく示すため、調査コストが高い場合の結果を示している。

30 コスト以外にもリターンやリスクの推定など投資の意思決定に関わる要素は数多く存在するが、コストの水準により市場全体の状況が大きく変化する点は興味深い。なお、コスト分析に関する時価加重インデックスとの比較については、高橋ら〔2007〕を参照のこと。

31 現実の証券投資におけるコストとしては、取引コスト、流動性コスト、アクティブ運用を場合における調査コストなどいくつかのコストが存在する。本節では、ファンダメンタルインデックス作成のためのコストのみに焦点を当てた分析を行ったが、多様なコストを考慮した詳細な分析は今後の課題である。

32 投資戦略の変更時に、予測精度の変更が行われる。

図13：価格の推移（ファンダメンタルインデックスの調査コストを考慮した場合）

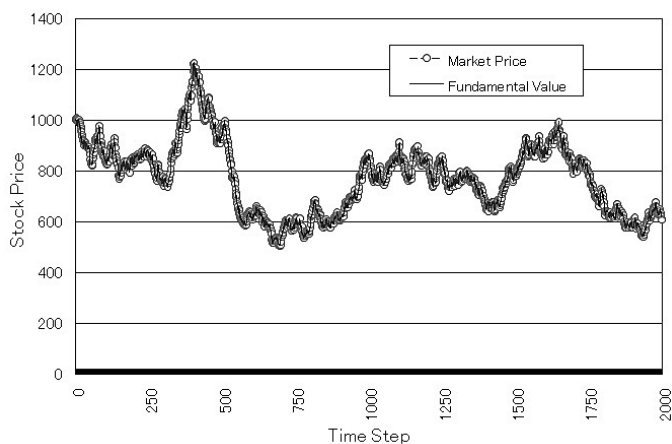


図14：投資家数の推移（ファンダメンタルインデックスの調査コストを考慮した場合）

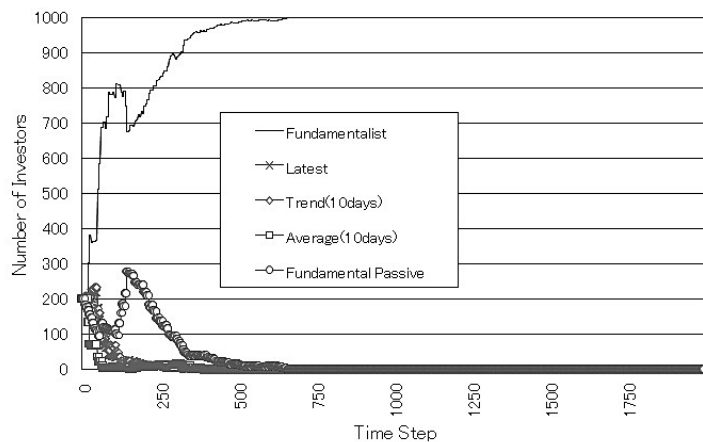


図15：価格の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（4タイプ））

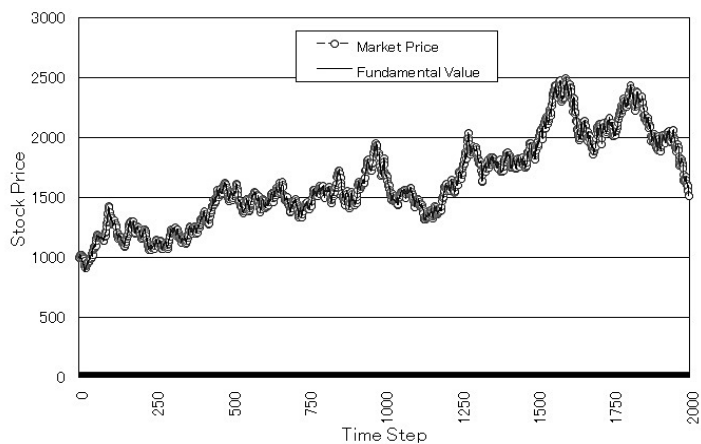


図16：投資家数の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（4タイプ））

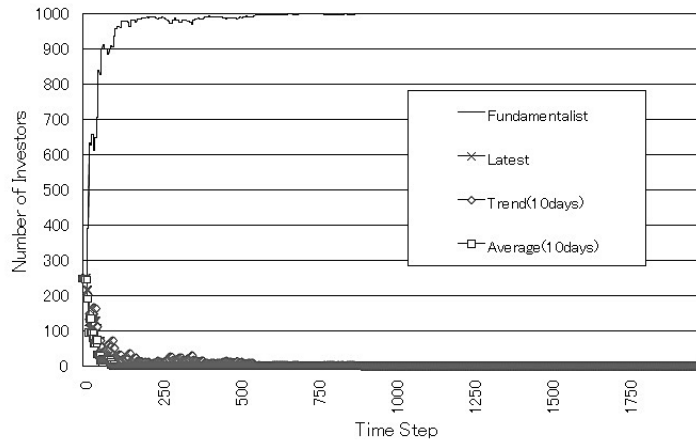


図17：リスク過小評価の程度の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（4タイプ））

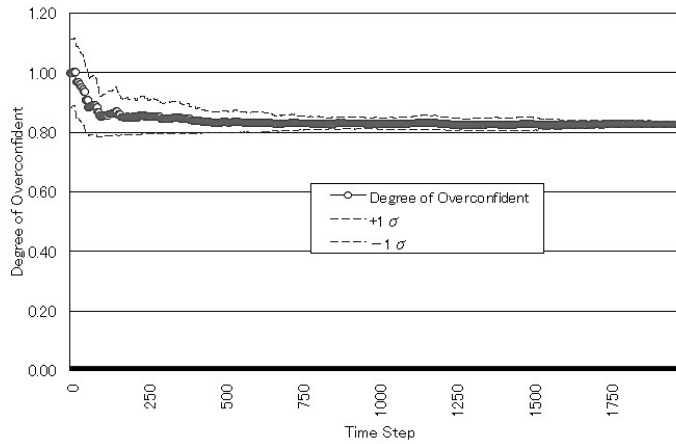
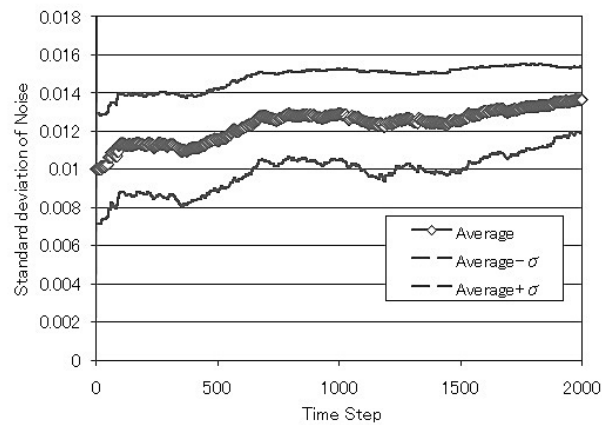


図18：投資家の予測精度の推移（4タイプ）



ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用を行う投資家が大きな割合を占めていくことを確認できる。リスクの過小評価の程度の推移についても、図6と同様、リスクの過小評価の程度に大きな変化はみられていない。図22は、投資家の予測誤差の標準偏差の推移を示したものである。図18と比較すると、当条件においては、明確な予測誤差の平均値の変化はみられていない<sup>33</sup>。

投資家の予測誤差に関しては、投資家の予測誤差が大きい場合、(1)予測の精度が悪いため投資のパフォーマンスが悪化するというマイナス面と(2)極端な投資行動をとった時に偶然予測が的中すると良好なパフォーマンスを獲得できるとのプラスの面が存在する<sup>34</sup>が、図22については前者の要因、図18については後者の要因が強く表れていると考えられる。これらの結果は、状況によって必ずしも予測精度のよい投資家が市場に生き残るわけではないことを示唆するものであり興味深いものである<sup>35</sup>。

本節においては、条件の一部を現実の市場の条件に近づけた分析を行い、当条件下においても、ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が有効であることを確認することができた。更に、本節では、特定の条件下においては当指標に基づくパッシブ運用とリスクを過小評価する投資家が共存するなどの興味深い現象についても見出すことができた。本節では、現実の投資環境のいくつかの側面を取り込んだ分析を行ったが、現実の異なる側面を考慮した分析など、より詳細な分析については今後の課題としたい。

#### 4 ま と め

本研究では、近年、証券投資の分野において提案されているファンダメンタルインデックスが市場にもたらす影響に焦点を当て分析を行った。分析の結果、(1)ファンダメンタルインデックスに基づくパッシブ運用が証券投資の手法として有効であること、(2)市場環境によってはファンダメンタルに基づくパッシブ運用を行う投資家と、リスクを過小評価する投資家が共存しうることなどの示唆に富む現象を見出した。更に、本研究では、投資家の予測精度に焦点を当てた分析も行い、その中で、市場環境によっては予測精度が悪い投資家が市場に存在し続ける可能性のあることなどの興味深い現象も見出した。今後の課題としては、複数銘柄を対象とした分析など、より現実的な条件を考慮した分析等が挙げられる。

---

33 若干低下してはいるものの、図18にみられるような明確な変化とはなっていない。

34 これとは逆に、現実の動きと予測が大幅に異なり、そのため投資のパフォーマンスが大幅に低迷するという場合も同様に起こりうる。

35 市場の制度設計を含めた予測精度に関するより詳細な分析は今後の課題としたい。



図19：価格の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（5タイプ））

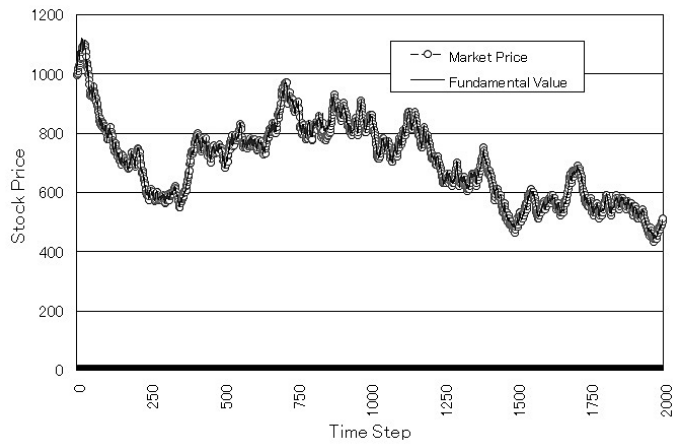


図20：投資家数の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（5タイプ））

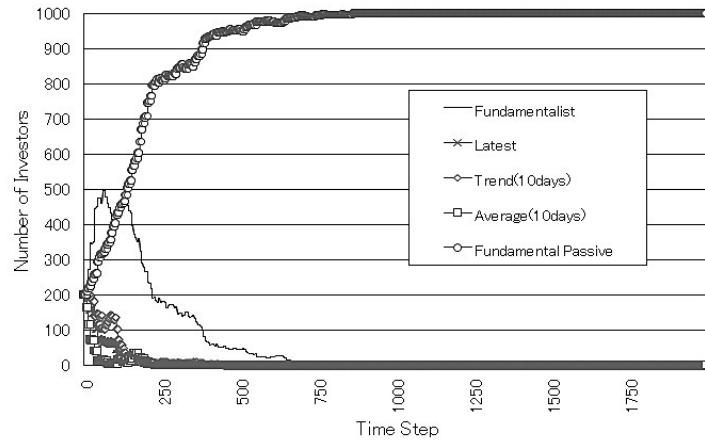


図21：リスク過小評価の程度の推移（予測精度のばらつきを考慮した場合（5タイプ））

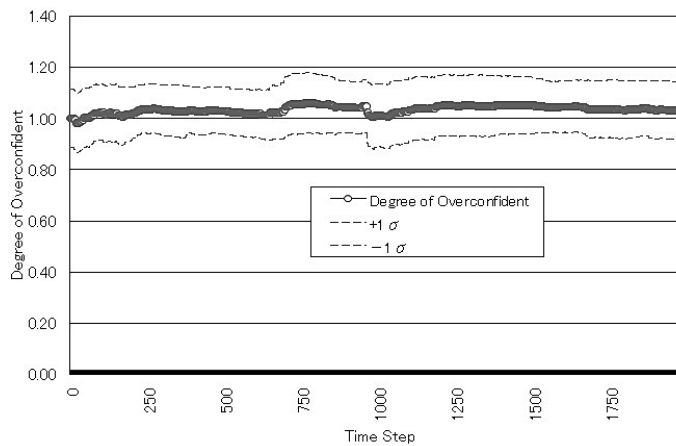
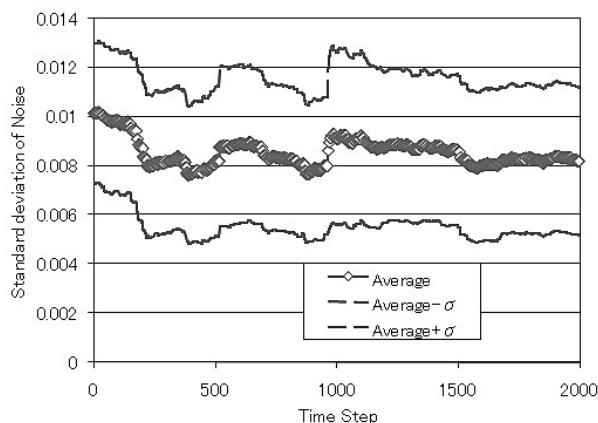


図22：投資家の予測精度の推移（5タイプ）



### A パラメーター一覧

本節においては、本論文において設計した金融市場の主要なパラメータの一覧を記す。各パラメータの説明およびその値について示すものとする。

- $M$  : 投資家の数 (1000)
- $N$  : 発行株式数 (1000)
- $F_t^i$  :  $t$  期における投資家  $i$  の総資産額 ( $F_0^i = 2000$ : 共通)
- $W_t$  :  $t$  期におけるベンチマークの株式比率 ( $W_0 = 0.5$ )
- $w_t^i$  :  $t$  期における投資家  $i$  の株式への投資割合 ( $w_0^i = 0.5$ : 共通)
- $y_t$  :  $t$  期に発生した利益 ( $y_0 = 0.5$ )
- $\sigma_y$  : 利益変動の標準偏差 ( $0.2/\sqrt{200}$ )
- $\delta$  : 株式の割引率 ( $0.1/200$ )
- $\lambda$  : 投資家のリスク回避度 (1.25)
- $r_t^{im}$  : リスクなどから見積もられる株式の期待収益率
- $c$  : 分散調整係数 (0.01)
- $\sigma_t^s$  : 株式変動の標準偏差の推定値
- $\sigma_t^h$  : 株式のヒストリカルボラティリティ
- $P_t$  :  $t$  期における取引価格
- $P_t^{f(i)}$  : (投資家  $i$  の)  $t$  期の取引価格の予測値
- $y_t^{f(i)}$  : (投資家  $i$  の)  $t$  期の利益の予測値
- $r^{f(i)}$  : (投資家  $i$  の) 短期の株式期待収益率
- $\sigma_n$  : 短期の株式収益率のばらつきの標準偏差 (0.01)
- $a_n$  :  $t$  期までの株価トレンド
- $r_i^{cum}$  : 投資家  $i$  の直近 5 期間の累積超過リターン
- $p_i$  : 戦略を変更する投資家が、投資家  $i$  の戦略を選択する確率
- $s_i$  : 投資家  $i$  の自信度の程度を示す係数 (0.8–1.2 の一様乱数)
- $a$  : 投資戦略の淘汰の程度を表す係数(5)

### 【参 考 文 献】

- [1] Arnott, R., Hsu, J. and Moore, P., “Fundamental Indexation”, *Financial Analysts Journal*, 61, No.2, 2005. (野村アセットマネジメント(株) 開発商品運用部訳：ファンダメンタル・インデックスー時価総額加重インデックスは本当に正しい指数か？ー, 証券アナリストジャーナル, 43, 10, pp.6–31, 2005.)

- [ 2 ] Arthur, W. B., Holland, J. H., Lebaron, B., Palmer, R. G. and Taylor, P. [1997], “Asset Pricing under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market,” *The Economy as an Evolving Complex System II*, Addison-Wesley, pp.15–44.
- [ 3 ] Axelrod, R. [1997], *The Complexity of Cooperation-Agent-Based Model of Competition and Collaboration*, Princeton University Press. (松田裕之訳 [1998], 『つきあい方の科学』 ミネルヴァ書房.)
- [ 4 ] Axtell, R. [2000], “Why Agents? On the Varied Motivation For Agent Computing In the Social Sciences,” *the Brookings Institution Center on Social and Economic Dynamics Working Paper*, November, No.17.
- [ 5 ] Barber, B. and Odean, T. : Trading is Hazardous to Your Wealth : The Common Stock Investment Performance of Individual Investors, *Journal of Finance*, 55, pp.773–806 (2000).
- [ 6 ] Bazerman, M. [1998], *Judgment in Managerial Decision Making*, John Wiley & Sons. (兼広崇明訳 [1999], 『バイアスを排除する経営意思決定』 東洋経済新報社.)
- [ 7 ] Black, F. and Litterman, R. [1992], “Global Portfolio Optimization,” *Financial Analysts Journal*, September–October, pp.28–43.
- [ 8 ] Brunnermeier, M. K. [2001], *Asset Pricing under Asymmetric Information*, Oxford University Press.
- [ 9 ] Chamley, C. P. [2004], *Rational Herds : Economic Models of Social Learning*, Cambridge University Press.
- [10] Fama, E. [1970], “Efficient Capital Markets : A Review of Theory and Empirical Work,” *Journal of Finance*, 25, pp.383–417.
- [11] Goldberg, D. [1989], *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley.
- [12] Grossman, S. J. and Stiglitz, J. E., “Information and Competitive Price Systems,” *American Economic Review*, 66, pp.246–253, 1976.
- [13] Hirshleifer, D. and Shumway, T. [2003], “Good Day Sunshine : Stock Returns and the Weather,” *Journal of Finance*, 58, pp.1009–1032.
- [14] Ingersoll, J. E. [1987], *Theory of Financial Decision Making*, Rowman & Little. ed.
- [15] Kahneman, D. and Tversky, A. [1979], “Prospect Theory of Decisions under Risk,” *Econometrica*, 47, pp.263–291.
- [16] Kahneman, D. and Tversky, A. [1992], “Advances in prospect Theory : Cumulative representation of Uncertainty,” *Journal of Risk and Uncertainty*, 5.
- [17] Kamstra, M. J., Kramer, L. A. and Levi, M. D. [2003], “Winter blues : Seasonal Affective Disorder (SAD) and Stock market returns,” *American Economic Review*, 92, 1, pp.323–343.
- [18] Markowitz, H. [1952], “Portfolio Selection,” *Journal of Finance*, 7, pp.77–91.
- [19] O’Brien, P. [1988], “Analysts’ Forecasts as Earnings Expectations,” *Journal of Accounting and Economics*, January, pp.53–83.
- [20] Sharpe, W. F. [1964], “Capital Asset Prices : A Theory of Market Equilibrium under condition of Risk,” *The Journal of Finance*, 19, pp.425–442.
- [21] Sharpe, W. F. [1987], “Integrated Asset Allocation,” *Financial Analysts Journal*, September–October.
- [22] Shleifer, A. [2000], *Inefficient Markets*, Oxford University Press. (兼広崇明訳 [2001], 『行動ファイナンス入門 金融バブルの経済学』 東洋経済新報社)
- [23] Shiller, R. J. [2000], *Irrational Exuberance*, Princeton University Press. (沢崎冬日訳 [2001], 『根拠なき熱狂』 ダイアモンド社)
- [24] Takahashi, H. and Terano, T. [2003], “Agent-Based Approach to Investors’ Behavior and Asset Price Fluctuation in Financial Markets,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 6, 3.
- [25] Tesfatsion, L. [2002], “Agent-Based Computational Economics,” *Economics Working Paper*, No.1, Iowa State University.
- [26] von Neumann, J. and Morgenstern, O. [1947], *Theory of Games and Economic Behavior*, 2nd ed., Princeton University Press.
- [27] Welch, I. [1992], “Sequential Sales, Learning, and Cascades,” *Journal of Finance*, 47, pp.695–732.
- [28] 高橋大志, 寺野隆雄 [2002], “エージェントシミュレーションによる GARCH モデルと Prospect 理論の関連性の分析,” シミュレーション, 21, 2, pp.133–142.
- [29] 高橋大志, 寺野隆雄 [2003], “エージェントモデルによる金融市場のミクロマクロ構造の分析：リスクマネジメントと資産価格変動,” 電子情報通信学会和文論文誌, 86-D-I, 8, pp.618–628.
- [30] 高橋大志 [2003], “エージェントベースアプローチの金融市場への応用,” 証券アナリストジャーナル, 41, 2, pp.58–69.
- [31] 高橋大志 [2004], “行動ファイナンスとエージェントベースモデル,” オペレーションズ・リサーチ, 49, 2004, pp.148–153.
- [32] 高橋大志, 寺野隆雄 [2006], “金融市場におけるミクロマクロ構造の解明：自信過剰な投資家の出現, 情報処理学

会論文誌, 5, 47, pp.1433-1442.

- [33] 高橋大志, 高橋 悟, 寺野隆雄 [2007], “金融市場におけるミクロマクロ構造の解明: ファンダメンタルインデックスと資産価格変動,” 電子情報通信学会和文論文誌, 9, J90-D, pp.2407-2414.
- [34] 田村浩道, 清水康弘 [2005], “グローバル・ファンダメンタル・インデックス-時価総額加重インデックスをグローバルにアウトパフォームするのか? -,” 証券アナリストジャーナル, 43, 10, pp.32-46.
- [35] 中央三井信託銀行年金運用研究会 [2002], 『パッシブ・コア戦略』東洋経済新報社, 2001.
- [36] 出口 弘, 和泉 潔, 塩沢由典, 高安秀樹, 寺野隆雄, 佐藤 浩, 喜多 一 [2000], “人工市場を研究する社会的および学問的意義,” 人工知能, 15, pp.982-990.

## **Analyzing the influence of fundamental index on financial markets**

Hiroshi Takahashi

In this paper, I analyze the influence of fundamental index on financial markets through agent-based simulation. To address the problem, I build a virtual financial market that contains several kinds of investors such as fundamentalists, non-fundamentalists and passive investors using fundamental index.

As a result of intensive experiments, I find that (1) fundamental index is effective under a realistic condition, (2) passive investment strategy using fundamental index and active investment strategy could coexist in a financial market under certain assumptions, and (3) investors with less forecast accuracy could survive in financial markets.